

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

建築計画における外殻構造システムの
可能性に関する研究

Applicability of Exterior Shell Systems to
Architectural Design

申 請 者

早部 安弘

Yasuhiro HAYABE

2019 年 7 月

外殻構造システムとは、地震荷重や風荷重などの水平荷重に抵抗する構造形式の一つであり、特に水平力抵抗要素（柱、ブレース、耐震壁等）を外周部に配置し、内部は鉛直荷重を支持することに特化した柱のみを配置して、建築計画の内部空間の設計自由度を高めた構造システムである。この構造システムは「構造デザイン」を伴って、近年、多くの建築物に取り入れられており、著者も構造設計者として外殻構造システムを実際の構造設計活動の中で様々な建築物の中に展開し、実践している。

本論文は、この構造システムを様々な用途の建築物に適用させた場合の有用性や可能性に関する研究成果をまとめ、今後の建築計画の領域が広がり、建築設計の一助となることを目的としている。構造設計者が自らの構造計画論の一つの構造システムを軸にまとめ、特殊解となりがちな構造設計手法を一般解化させていることに特長がある。

以下、各章ごとの概要と成果を記す。

第1章「序論」では、1950年から1970年代にかけて活躍した近代建築史家の山本学治の思想を再読することから始めている。山本は技術史、技術論についての著述が多く、「デザインと構造の総合」と「普遍的独創性」の二つの思想を著者は本論文で特に重要な思想であると位置づけている。著者自身の構造計画論に半世紀前の歴史学者の思想を対応させ、未来にも通用する思想へ発展させようと試みる姿勢は建築学的にも意義の高いものである。続いて、日本における耐震技術の変遷を歴史地震の側面から概説し、免震構造・制振構造へと発展していく過程を述べ、その流れの中で現在の「損傷制御設計」へ至ったと述べ、「外殻構造」が損傷制御設計の一つの構造スタイルであると提示している。

第2章「外殻構造のバリエーションと設計事例」では、著者自らが構造設計を手掛けた9つの国内事例を調査対象と位置付け、それらを第1章で提示した耐震構造・免震構造・制振構造の形式毎に類型化している。

地震国である日本において外殻構造システムを有する建築物を耐震構造で設計することは地震動の入力エネルギー吸収要素の導入が難しく、規模を限定するか、「鋼板コンクリート構造」のような新技術を導入する必要があると説いている。次に外周部に地震力を集約する外殻構造システムは上部構造が剛体に近い挙動となるために免震構造への適用性が高いことを示し、その結果として、「斜め格子フレーム」のメッシュ・デザインの事例や「フィーレンディール・トラス」をそのままファサード・デザインに取り込んだ事例、「メガトラス架構」で構造体を形成しながらも、ファサードでは架構を表さないストイックなデザインとした事例などファサード・デザインの多様性にもつながっていることを指摘している。制振構造への外殻構造システムの適用性は地震動の入力エネルギー吸収要素の配置計画が難しく、そのエネルギー吸収機構の開発事例を示し、上部構造のファサード・デザインに独自性を与えていることを指摘し

ている。

このように免震・制振技術の発展により，主架構を構成する部材と地震動エネルギー吸収部材（損傷部材）を分ける「損傷制御設計」が可能になり，「外殻構造」を飛躍的に急増させていると分析している．デザインとの関係において「メッシュ状」の建築デザインだけでなく，様々な用途の建築物に対して，多様な架構システムと建築デザインを適用させることが可能であることを示した点は構造計画論としてだけでなく，建築計画論の面からも評価できる．また，海外の超高層建築物にも目を向け，メッシュ状架構によるチューブ構造の事例を紹介し，この形態の超高層建築物を日本において設計・建設する際は地震動入力に対するエネルギー吸収機構を導入するなどの留意点を示している．

第3章「外殻構造システムの設計手法」では，第2章で紹介した事例を比較し，将来の建築物に「外殻構造」がどのように適用できるかについて適用範囲の分析を行っている．構造材料も鉄骨に限らず鉄筋コンクリートや複合構造（SC）などの構造材料も適用できることを示すとともに，建物用途でも商業ビル，事務所ビル，研究所，図書館，複合施設など，特に適用不可な用途はないことを提示した．特に外殻構造の構造設計上の重要な点は，床スラブから外殻フレームへの地震荷重の伝達機構であり，中低層建築物の一般的な床スラブ厚の場合は100mを大きく超えない建物幅が適用範囲であるとまとめている．更に中低層建築物のコンセプトモデルとして，90m×90mの正方形建築物と直径90mの円形建築物を示すとともに，適用範囲と適用上の留意点をまとめ，特に平面形状が正方形に近い方が望ましいことと，規模が大きくなるほど，免震・制振構造を適用すべきであることを明らかにした点は評価に値する．

第4章「提案モデル～外殻構造の可能性～」では第3章までの論点を踏まえて，建築設計において「外殻構造システム」を適用した場合の将来的可能性について，2つの試案を提示している．一つは「提案モデルA」として，平面形状が100m×100m，建物高さ60mの中層建築物である．地上40m位置に免震層を設けた中間階免震構造の建築物である．免震構造を採用することで，日本における構造関係の技術的基準を満たし，都市計画における空中都市のように街区を跨りながら，建物の中央部に光や風をとり入れられるようなモデルの実現可能性を示している．「提案モデルA」で示した形態や，構造形式を平面的に展開していくことで，新たな二層化した都市空間へと発展していくことも可能であり，これらの点は高く評価できる．

もう一つの「提案モデルB」は，建物高さ400m級の超々高層建築物である．高さ300mまでの超高層ビルは現在の技術水準で十分に建設可能である点を指摘し，新しいことへの挑戦が新技術の開発につながったことを踏まえ，新たな需要として高さ400m，500mの超々高層ビルの必要性が高まったときのことを想定している．近い将来に発生する巨大地震に対して，超々高層ビルは構造体

に損傷を受けてはいけない。そのために、このモデルでは「(ハーフ)鋼板コンクリート構造壁」を外殻構造システムに適用し、巨大地震に対して鋼板が損傷を防ぐことを提案している。また、耐震構造でも超々高層ビルの建設の可能性を示したことの意義は大きく、近い将来に人々は耐震構造、免震構造、制振構造のいずれかの選択をしながら、ファサード・デザインを楽しみ、内部空間の豊かな建築とともに生きることになる可能性を「外殻構造システム」の中に見出すことができることをまとめとしている。

第5章「結論」では第1章から第4章までの内容を、外殻構造システムの適用範囲および設計手法、ならびに試案2例による都市空間の有効利用にまでつながる構造設計の可能性としてまとめた。更に山本学治が20世紀前半の薄肉鉄筋コンクリート技術に見出した「普遍的独創性」は、21世紀における耐震構造・免震構造・制振構造に対応し、この新たな「普遍的創造」の上に創り上げる「外殻構造」こそが「デザインと構造の総合」を実現する現代の構造システムと結論づけている。

以上、本論文は構造デザイン論にとどまらず、新しい建築デザインに貢献し、構造工学および建築計画学の発展に大きく寄与するものであり、博士(建築学)の学位論文として価値あるものと認める。

2019年6月

審査員

主査 早稲田大学教授

古谷 誠章

早稲田大学教授 Ph.D. (Columbia University)

工学博士 (早稲田大学) 西谷 章

早稲田大学教授 博士 (工学) (早稲田大学) 前田 寿朗

早稲田大学教授 Ph.D. (University of California, Berkeley)

有賀 隆